饲粮消化能和可消化粗蛋白质水平对燕山绒山羊营养物质表观消化率的影响

张继伟[1] 李振林[2] 翟 刚[2] 高 昆[1] 张英杰[1*] 刘月琴[1] 段春辉[1]

（1.河北农业大学动物科技学院，保定 071000；2.河北青龙县畜牧局，青龙 066500）

摘 要：本试验旨在研究饲粮消化能（DE）和可消化粗蛋白质（DCP）水平对舍饲燕山绒山羊公羔营养物质表观消化率的影响。选择体况良好、体重为（16.17±1.90） kg 的 4 月龄断奶燕山绒山羊公羔 90 只，随机分为 9 组，每组 10 只。试验采用 3×3 完全随机设计，DE 设定低（11.6 MJ/kg）、中（12.8 MJ/kg）、高（14.0 MJ/kg）3 个水平，DCP 也设定低（8.5%）、中（9.5%）、高（10.5%）3 个水平，共配制 9 种饲粮。每组试验羊随机饲喂 1 种饲粮，当试验羊平均体重达到 20 kg 时，每组选择 4 只进行消化代谢试验，预试期 7 d，正试期 3 d。结果显示：1）随着饲粮 DE 水平的升高，粪能显著降低（$P<0.05$），总能表观消化率显著提高（$P<0.05$）；饲粮 DCP 水平和 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对摄入总能、粪能、尿能、消化能和总能表观消化率均未产生显著影响（$P>0.05$）。2）摄入氮和粪氮随饲粮 DE 水平的升高而显著降低（$P<0.05$）；低、中 DE 水平组的氮表观消化率显著低于高 DE 水平组（$P<0.05$）；低 DCP 水平组的摄入氮和氮表观消化率显著低于高 DCP 水平组（$P<0.05$），低、中 DCP 水平组的可消化氮显著低于高 DCP 水平组（$P<0.05$）；饲粮 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对各氮代谢指标均无显著影响（$P>0.05$）。3）随着饲粮 DE 水平的升高，干物质、有机物、粗脂肪和钙的表观消化率逐渐提高，其中干物质、有机物的表观消化率表现为各组间差异显著（$P<0.05$），粗脂肪的表观消化率表现为高 DE 水平组显著高于低 DE 水平组（$P<0.05$），

收稿日期：2018-03-20

基金项目：国家肉羊产业技术体系(CARS-38)

作者简介：张继伟（1992—），男，山东枣庄人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。

E-mail： zhangjiwei_ral@163.com

*通信作者：张英杰，教授，博士生导师，E-mail: zhangyingjie66@126.com

钙的表观消化率表现为高、中 DE 水平组显著高于低 DE 水平组（P<0.05）；饲粮 DCP 水平以及 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对干物质、有机物、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙和磷的表观消化率均未产生显著影响（P>0.05）。综上所述，随着饲粮 DE 水平的提高，燕山绒山羊的干物质、有机物、粗脂肪、钙、总能和氮的表观消化率持续提高；饲粮 DCP 水平显著影响了燕山绒山羊的摄入氮、消化氮和氮表观消化率；饲粮 DE 和 DCP 水平分别为 14.0 MJ/kg 和 10.5%时燕山绒山羊的总能表观消化率、消化能、氮表观消化率最高，DE 和 DCP 水平分别为 12.8 MJ/kg 和 10.5%时燕山绒山羊的沉积氮最高。

关键词：燕山绒山羊；消化能；可消化蛋白质；营养物质；表观消化率

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

燕山绒山羊主产区在河北省燕山山区，以青龙县、宽城县及周边县市为集中饲养区，是以本地土种羊（俗称山蹦子羊）为基础，经过 30 多年的选育而形成的一个绒肉兼用型绒山羊新类群。目前，当地 85%的山羊为燕山绒山羊。

消化率是评价饲料营养价值的重要指标，也是制订饲粮配方的依据之一，合理的饲粮配方关键在于能够提高饲粮中营养物质的消化利用率、降低饲养成本、提高养殖效率。饲粮能量和蛋白质水平对饲料的利用效率起重要作用，当饲粮中蛋白质和能量比例适当时，畜禽生长速度加快、饲料转化率最高，反之亦然。随着养殖规模化、集约化进程的发展，节能减排、提高饲料利用效率已经成为研究热点。目前，关于绒山羊营养的研究大多集中在需要量方面，而关于饲粮能氮比的研究较少，孔祥通[1]、柴贵宾等[2]、杨宁等[3]研究了陕北绒山羊和辽宁绒山羊的能量和蛋白质需要量，但只研究单一因素的影响。鉴于此，本试验拟通过研究不同消化能（DE）和可消化粗蛋白质（DCP）水平对舍饲燕山绒山羊营养物质表观消化率的影响，以期为实际生产中绒山羊饲粮的配制提供数据支持。

1　材料与方法

1.1　试验时间和地点

本试验于2017年1月21日至2017年3月21日在河北省承德市宽城立东养殖有限公司进行。

1.2 试验动物的选择与分组

选择体重为（16.17±1.90）kg、健康状况良好的4月龄断奶燕山绒山羊公羔90只，随机分为9组，每组10只。

1.3 试验设计与试验饲粮

采用2因子3水平试验设计，以DE和DCP作为影响因素，其中DE设定低（11.6 MJ/kg）、中（12.8 MJ/kg）、高（14.0 MJ/kg）3个水平，DCP也设定低（8.5%）、中（9.5%）、高（10.5%）3个水平，按3×3完全随机设计（表1），共配制出9种不同DE和DCP水平的试验饲粮，试验饲粮组成及营养水平见表2，试验饲粮为全混合颗粒日粮（TMR）。中DE（12.8 MJ/kg）和DCP水平（9.5%）的设定参考NRC（2007）[4]山羊营养需要量，DE水平梯度设定为1.2 MJ/kg，DCP水平梯度设定为1%。每组试验羊随机饲喂1种饲粮，当试验羊体重达到20 kg左右时，移入消化代谢笼开始消化代谢试验，预试期7 d，正试期3 d。每天08:00和16:00各饲喂1次，自由饮水。采用全收粪法进行营养物质表观消化率评价。

表1 试验设计

Table 1 The experiment design

消化能水平 DE level	可消化粗蛋白质水平 DCP level 低 Low	中 Medium	高 High
低 Low	Ⅰ组	Ⅱ组	Ⅲ组
中 Medium	Ⅳ组	Ⅴ组	Ⅵ组
高 High	Ⅶ组	Ⅷ组	Ⅸ组

表2 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

项目 Items	组别 Groups								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
原料 Ingredients									
玉米秸秆 Corn straw	35.0	35.0	35.0	23.0	23.0	23.0	10.0	10.0	10.0
花生秧 peanut vine	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
苜蓿 Alfalfa hay	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
玉米 Corn	27.0	24.0	21.0	45.0	42.0	39.0	64.0	61.5	59.0
豆粕 Soybean meal	6.0	9.0	12.0	5.5	8.5	11.5	5.0	8.0	11.0
麸皮 Wheat bran	13.0	13.0	13.0	7.5	7.5	7.5	1.5	1.0	0.5
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7
预混料 Premix[1)]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
食盐 NaCl	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]									
消化能 DE/(MJ/kg)	11.68	11.67	11.66	12.84	12.83	12.82	14.01	14.02	14.02
可消化粗蛋白质 DCP	8.50	9.53	10.55	8.52	9.54	10.56	8.50	9.49	10.48
中性洗涤纤维 NDF	38.45	38.75	38.78	33.05	32.24	31.34	22.27	21.50	21.31
酸性洗涤纤维 ADF	20.09	20.90	21.60	17.94	17.55	17.04	11.69	11.91	11.78
钙 Ca/%	0.61	0.62	0.63	0.57	0.58	0.59	0.63	0.63	0.64
磷 P/%	0.32	0.34	0.35	0.29	0.30	0.32	0.34	0.35	0.36

[1)]每千克预混料中含有 Contained the following per kg of premix：VA 10 260 IU，VE 30 IU，VD 2 200 IU，Fe 57.86 mg，Zn 42.73 mg，Mn 33.65 mg，Cu 9.34 mg，Se 0.19 mg，I 0.76 mg，Co 0.23 mg。

[2)]饲粮消化能、可消化粗蛋白质水平是根据饲料原料组成以干物质为基础计算得出，为计算值，其他均为实测值。DE and DCP were calculated according to feed ingredient composition on a dry matter basis, while the others were measured values.

1.4　样品采集与处理

正试期内记录每只试验羊每天的给料量和剩料量，并采集饲粮样品，将 3 d 所采集的饲料样品充分混合，放入冰箱中冷冻保存，用于测定给料和剩料中营养物质的含量。每天称量每只羊的排粪量，按总重的 10%取样，将 3 d 所采集的每只羊的粪样混合，贴好标签冷冻保存，用于测定粪样中营养物质的含量。用盛有 100 mL 体积分数为 10% H_2SO_4（固氮作用）的塑料桶收集尿液，每天记录尿液容积后，经 4 层纱布过滤，按 10％比例取样，将每只羊 3 d 的尿样混合冷冻保存，用以测定尿样中总能和氮含量。

1.5　测定指标与计算方法

给料、剩料、粪样和尿样中干物质、有机物、粗脂肪、粗灰分含量的测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》(第 2 版)[5]中的方法，总能的测定采用氧弹量热仪，粗蛋白质含量的测定采用全自动凯氏定氮仪，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的测定采用全自动纤维分析仪。

饲粮中某营养物质的表观消化率（%）=100×（某营养物质的摄入量－粪中该营养物质的量）/该营养物质的摄入量；

总能表观消化率(%)=消化能/摄入总能；

可消化氮（g/d）=摄入氮－粪氮；

沉积氮（g/d）=摄入氮－粪氮－尿氮；

氮表观消化率（%）=100×可消化氮/摄入氮；

净蛋白质利用率（%）=100×沉积氮/摄入氮。

1.6　数据处理分析

所有数据先用 Excel 2007 进行初步整理，再用 SPSS 21.0 进行一般线性模型（GLM）多因素方差分析。单个因素组间比较采用 SPSS 21.0 统计软件中 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析，并用 Duncan 法进行多重比较。统计模型中包括 DE 水平、DCP 水平、DE 水平×DCP 水平，统计学显著性水平为 P<0.05，数据均以平均值±标准差（mean±SD）的形式表示。

2　结果与分析

2. 1　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊能量消化代谢的影响

由表 3 可知，饲粮 DE 水平显著影响了摄入总能、粪能、尿能和总能表观消化率（P<0.05）。低 DE 水平组摄入总能显著高于高 DE 水平组（P<0.05），尿能显著高于中、高 DE 水平组（P<0.05）；粪能随饲粮 DE 水平的提高而显著降低（P<0.05）；3 个 DE 水平组的消化能差异不显著（P>0.05）；总能表观消化率随饲粮 DE 水平的提高而显著升高（P<0.05）。Ⅸ组的总能表观消化率最高，比最低组Ⅱ组提高了 27.65%，差异显著（P<0.05）。饲粮 DCP 水平以及 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对摄入总能、粪能、尿能、消化能和总能表观消化率未产生显著影响（P>0.05）。

表 3　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊能量消化代谢的影响

Table 3　Effects of dietary DE and DCP levels on energy digestion and metabolism of *Yanshan* cashmere goats

项目 Items		摄入总能 GEI/（MJ/d）	粪能 FE/（MJ/d）	尿能 UE/（MJ/d）	消化能 DE/（MJ/d）	总能表观消化率 GE apparent digestibility /%
组别	Ⅰ	17.88±1.67	$6.34±1.20^{ab}$	$0.55±0.02^{ab}$	11.55±1.46	$64.56±5.89^{cd}$

Groups	Ⅱ	17.12±2.28	6.45±0.75[a]	0.72±0.16[a]	10.67±1.65	62.20±2.14[d]
	Ⅲ	16.99±0.96	5.96±1.37[abc]	0.57±0.17[ab]	11.03±1.26	64.99±7.45[cd]
	Ⅳ	16.20±1.48	5.07±0.53[bc]	0.44±0.06[b]	11.13±1.00	68.74±1.12[cd]
	Ⅴ	16.86±0.77	5.19±0.73[abc]	0.46±0.10[b]	11.67±0.74	69.25±3.76[c]
	Ⅵ	16.33±2.95	4.76±0.92[cd]	0.44±0.04[b]	11.57±2.44	70.65±4.45[bc]
	Ⅶ	15.45±1.08	3.66±0.29[de]	0.40±0.12[b]	11.79±1.19	76.20±2.74[ab]
	Ⅷ	15.15±0.50	3.44±0.56[e]	0.43±0.19[b]	11.71±0.71	77.28±3.77[a]
	Ⅸ	15.52±1.60	3.18±0.34[e]	0.39±0.15[b]	12.35±1.56	79.40±2.47[a]
主效应 Main effects						
消化能水平 DE level	低 Low	17.33±1.61[a]	6.25±1.05[a]	0.61±0.14[a]	11.08±1.38	63.91±5.24[c]
	中 Medium	16.46±1.80[ab]	5.01±0.70[b]	0.45±0.06[b]	11.46±1.45	69.55±3.21[b]
	高 High	15.37±1.06[b]	3.43±0.43[c]	0.40±0.14[b]	11.95±1.13	77.62±3.09[a]
可消化蛋白质水平 DCP level	低 Low	16.51±1.68	5.02±1.34	0.46±0.10	11.49±1.15	69.83±6.09
	中 Medium	16.38±1.58	5.03±1.43	0.54±0.20	11.35±1.13	69.57±7.10
	高 High	16.28±1.93	4.63±1.48	0.47±0.14	11.65±1.74	71.68±7.78
P 值 *P*-value						
消化能水平 DE level		0.025	<0.001	0.001	0.344	<0.001
可消化蛋白质水平		0.942	0.414	0.276	0.879	0.418

DCP level					
消化能水平×可消化蛋白质水平 DE level × DCP level	0.899	0.993	0.694	0.858	0.924

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference （P>0.05）, while with different small letter superscripts mean significant difference （P<0.05）. The same as below.

2.2　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊氮代谢的影响

由表 4 可知，饲粮 DE 水平显著影响了摄入氮、粪氮、尿氮和氮表观消化率（P<0.05），但是对可消化氮、沉积氮和净蛋白质利用率的影响不显著（P>0.05）。摄入氮和粪氮随饲粮 DE 水平的升高而显著降低（P<0.05）；尿氮和可消化氮随饲粮 DE 水平的升高均有降低趋势，其中低 DE 水平组的尿氮显著高于高 DE 水平组（P<0.05），可消化氮各组间差异不显著（P>0.05）；低、中 DE 水平组的氮表观消化率显著低于高 DE 水平组（P<0.05）；3 个 DE 水平组间沉积氮差异不显著（P>0.05）。饲粮 DCP 水平显著影响了摄入氮、可消化氮和氮表观消化率（P<0.05）。低 DCP 水平组的摄入氮和氮表观消化率显著低于高 DCP 水平组（P<0.05），低、中 DCP 水平组的可消化氮显著低于高 DCP 水平组（P<0.05）。Ⅸ组的氮表观消化率最高，比最低组Ⅰ组提高了 21.33%，差异显著（P<0.05）。饲粮 DCP 水平对粪氮、沉积氮、净蛋白质利用率的影响不显著（P>0.05），Ⅵ组的沉积氮最高。饲粮 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对各氮代谢指标均无显著影响（P>0.05）。

表 4　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊氮代谢的影响

Table 4　Effects of dietary DE and DCP levels on nitrogen metabolism of *Yanshan* cashmere

goats

项目 Items		摄入氮 NI/（g/d）	粪氮 FN/（g/d）	尿氮 UN/（g/d）	可消化氮 DN/（g/d）	沉积氮 NR/（g/d）	氮表观消化率 N apparent digestibility/%	净蛋白质利用率 NPU/%
组别 Groups	I	21.88±2.04^{abc}	8.43±1.44^{a}	6.53±1.93^{ab}	13.45±2.47^{bc}	7.64±2.72	61.23±7.63^{c}	30.80±15.98
	II	22.72±3.03^{ab}	7.90±1.19^{ab}	7.10±0.87^{ab}	14.81±1.96^{abc}	7.82±2.61	65.26±2.00^{bc}	33.68±6.28
	III	24.54±1.38^{a}	7.99±0.92^{ab}	8.52±0.89^{a}	16.55±0.77^{a}	7.85±0.98	67.51±2.42^{abc}	32.81±4.68
	IV	19.01±1.74^{cd}	6.66±0.66^{bcd}	6.05±2.57^{b}	12.35±1.13^{c}	6.55±1.08	64.99±0.95^{bc}	33.25±13.86
	V	21.76±1.00^{abc}	7.43±0.95^{ab}	6.17±2.02^{ab}	14.33±1.26^{abc}	8.31±1.87	65.84±4.45^{bc}	37.68±9.99
	VI	22.78±4.12^{ab}	6.96±1.26^{abc}	6.86±0.59^{ab}	15.82±3.26^{ab}	8.33±2.04	69.31±3.79^{ab}	38.57±6.71
	VII	17.43±1.22^{d}	5.61±0.51^{cd}	5.19±1.13^{b}	11.82±1.50^{c}	7.37±1.76	67.64±4.27^{abc}	37.85±9.30
	VIII	18.40±0.6	5.36±0.92	5.92±0.87	13.04±	6.60±1.9	70.88±4.	38.69±5

		1^{cd}	^{d}	^{b}	0.94^{bc}	5	86^{ab}	.27
	IX	19.99±2.06^{bcd}	5.12±0.89^{d}	6.06±1.02^{b}	14.87±2.05^{abc}	7.17±1.87	74.29±4.48^{a}	43.69±5.20
主效应 Main effects								
消化能水平 DE level	低 Low	23.05±2.35^{a}	8.11±1.12^{a}	7.38±1.48^{a}	14.94±2.15	7.77±2.04	64.66±5.09^{b}	32.43±9.38
	中 Medium	21.18±2.91^{b}	7.01±0.95^{b}	6.36±1.77^{ab}	14.17±2.42	7.73±1.78	66.71±3.66^{b}	36.50±9.89
	高 High	18.61±1.70^{c}	5.36±0.75^{c}	5.72±1.00^{b}	13.24±1.93	7.05±1.72	70.94±4.99^{a}	40.07±6.76
可消化蛋白质水平 DCP level	低 Low	19.44±2.46^{b}	6.90±1.50	5.92±1.87	12.54±1.77^{b}	7.18±1.85	64.62±5.35^{b}	33.96±12.45
	中 Medium	20.96±2.57^{ab}	6.90±1.48	6.39±1.34	14.06±1.53^{b}	7.57±2.10	67.32±4.46^{ab}	36.68±7.12
	高 High	22.44±3.18^{a}	6.69±1.56	7.15±1.31	15.75±2.17^{a}	7.78±1.61	70.37±4.47^{a}	38.35±6.87
P 值 *P*-value								
消化能水平 DE level		<0.001	<0.001	0.032	0.103	0.604	0.004	0.156
可消化蛋白质水平 DCP level		0.008	0.841	0.139	0.001	0.750	0.011	0.521
消化能水平×可消化蛋白质水平 DE level		0.907	0.747	0.878	0.996	0.743	0.950	0.972

×DCP level

2.3　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊其他营养物质表观消化率的影响

由表 5 可知，饲粮 DE 水平显著影响了干物质、有机物、粗脂肪和钙的表观消化率（P<0.05）。随着饲粮 DE 水平的升高，干物质、有机物、粗脂肪和钙的表观消化率逐渐提高，其中干物质、有机物的表观消化率表现为各组间差异显著（P<0.05），粗脂肪的表观消化率表现为高 DE 水平组显著高于低 DE 水平组（P<0.05），钙的表观消化率表现为高、中 DE 水平组显著高于低 DE 水平组（P<0.05）。饲粮 DE 水平对中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和磷的表观消化率未产生显著影响（P>0.05）。饲粮 DCP 水平以及 DE 水平与 DCP 水平的交互作用对干物质、有机物、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙和磷的表观消化率均未产生显著影响（P>0.05）。

表 5　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊其他营养物质表观消化率的影响

Table 5　Effects of dietary DE and DCP levels on other nutrient apparent digestibility of *Yanshan* cashmere goats　　%

项目 Items		干物质 DM	有机物 OM	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗脂肪 EE	钙 Ca	磷 P
组别 Groups	I	65.20±5.90^{de}	67.36±5.32^{de}	42.00±0.51	36.00±11.95	72.65±7.35^{ab}	45.75±11.98^{ab}	31.39±3.75^{bc}
	II	62.85±2.06^{e}	64.89±2.11^{e}	37.62±4.46	33.61±4.45	74.01±5.11^{ab}	39.46±9.60^{b}	25.13±6.31^{c}
	III	65.26±7.36^{de}	67.65±6.94^{de}	41.48±12.06	39.68±13.12	68.33±9.43^{b}	42.36±6.04^{ab}	36.44±3.93^{ab}
	IV	70.23±1.	71.96±1.	42.50±3.	38.25±3.	74.40±4.	54.42±4.7	41.85±4.

		46^{cd}	11^{cd}	38	21	5^{ab}	7^{a}	81^{a}
	V	70.32±3.68^{cd}	72.54±3.39^{cd}	42.09±6.20	38.59±7.93	74.23±4.95^{ab}	54.44±7.81^{a}	35.78±7.95^{ab}
	VI	71.94±4.14^{bc}	73.85±4.04^{bc}	44.83±8.46	41.38±8.11	77.53±7.06^{ab}	47.26±2.68^{ab}	38.77±7.95^{ab}
	VII	77.59±2.56^{ab}	79.16±2.42^{ab}	39.47±6.66	33.37±6.50	76.73±2.43^{ab}	47.73±8.74^{ab}	42.94±5.16^{a}
	VIII	78.73±3.23^{a}	80.27±3.09^{a}	40.19±9.78	35.50±12.29	78.34±7.30^{ab}	54.74±6.55^{a}	37.98±9.80^{ab}
	IX	80.29±2.27^{a}	81.85±2.36^{a}	47.20±6.02	44.53±5.34	79.18±2.29^{ab}	53.81±4.79^{a}	40.93±6.57^{ab}
主效应 Main effects								
消化能水平 DE level	低 Low	64.44±5.17^{c}	66.63±4.87^{c}	40.37±8.91	36.43±9.91	71.66±7.24^{b}	42.52±9.02^{b}	30.98±6.50
	中 Medium	70.83±3.10^{b}	72.78±2.94^{b}	43.14±5.89	39.41±6.33	75.39±5.33^{ab}	52.04±6.11^{a}	38.78±5.59
	高 High	78.87±2.71^{a}	80.43±2.66^{a}	42.29±7.83	37.88±8.48	78.08±4.32^{a}	52.09±7.03^{a}	40.61±7.06
可消化蛋白质水平 DCP level	低 Low	71.01±6.33	72.82±5.95	41.32±6.87	35.87±7.59	74.59±5.00	49.30±9.01	38.70±6.85
	中 Medium	70.64±7.32	72.57±7.07	39.97±6.76	35.90±8.26	75.53±5.71	49.55±10.44	32.96±8.51
	高 High	72.50±7.	74.45±7.	44.50±8.	41.86±8.	75.01±8.	47.81±6.4	38.71±6.

	88	48	66	78	01	9	08
P 值 *P*-value							
消化能水平 DE level	<0.001	<0.001	0.688	0.712	0.047	0.005	0.391
可消化蛋白质水平 DCP level	0.502	0.435	0.374	0.177	0.931	0.829	0.213
消化能水平×可消化蛋白质水平 DE level×DCP level	0.930	0.898	0.869	0.874	0.585	0.265	0.105

3 讨 论

3.1 饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊能量消化代谢的影响

能量是动物体内一切代谢活动和生产活动的基础，反刍动物从饲粮中摄取的能量有20%～50%是以粪的形式损失，有 4%～5%以尿的形式损失。Mahgoub 等[6]采用低、中、高 3 种 DE 水平（12.2、12.6 和 13.9 MJ/kg）的饲粮饲喂阿曼绵羊，总能表观消化率分别为 66.8%、67.2%和 73.3%。黄帅等[7]利用 DE 水平分别为 9.33、10.49、11.66 和 12.61 MJ/kg 的饲粮饲喂 5 月龄陕北白绒山羊（公母各占 1/2），公羊的总能表观消化率分别为 69.92%、65.81%、72.11%和 88.05%，母羊的总能表观消化率分别为 45.80%、51.45%、69.50%和 69.07%。本试验结果显示，随着饲粮 DE 水平的升高，粪能显著降低，总能表观消化率显著提高，说明在一定的范围内提高饲粮 DE 水平有助于提高总能的消化率。但是，陈存霞[8]在以道寒杂交育肥羔羊为试验动物的试验中发现高能组与中能组的总能表观消化率差异不显著，且高能组容易出现拉稀症状，说明能量水平超过一定限度后总能的消化率不会继续升高，过高的能量会影响到瘤胃的正常消化功能，进而影响羔羊对营养物质的消化。

本研究中高、中 DE 水平组的总能表观消化率随饲粮 DCP 水平的升高而增高，低 DE

水平组总能表观消化率不受饲粮 DCP 水平的显著影响。司丙文等[9]利用粗蛋白质水平分别为 10.4％、13.0％、15.7％的 TMR 饲喂杜寒杂交羔羊，结果显示总能表观消化率随着饲粮粗蛋白质水平的升高有升高趋势。有研究显示，提高饲粮粗蛋白质水平会提高能量的消化率，但是超过一定的范围后能量的消化率会降低[3,10]。也有研究显示能量的消化率会随蛋白质消化率的升高而下降，两者呈负相关关系[11-12]。归其原因，饲粮粗蛋白质水平会影响绒山羊瘤胃的正常功能，粗蛋白质水平过低会造成瘤胃微生物繁殖受限，过高会造成过多的蛋白质代谢产物排泄，加重肝脏、肾脏的负担，从而影响其他营养物质的消化代谢。此外，对反刍动物而言，饲粮中的能量和蛋白质在满足动物需要的基础上，还应保持适宜的能氮比，能氮平衡可促进微生物蛋白的合成和能量的利用，从而产生正的组合效应，而能氮比不当则会导致动物对营养物质的利用效率下降，严重失衡时会引起动物营养障碍。本试验中Ⅱ组和Ⅵ组饲粮的能氮比（本试验中为 DE/DCP）一致，Ⅰ组、Ⅴ组和Ⅸ组的能氮比一致，但是总能表观消化率差异很大，说明饲粮 DE、DCP 水平以及能氮比都会对总能的消化利用产生影响，因为本研究中 DE 和 DCP 水平梯度不大，并未出现营养障碍从而显著影响到总能表观消化率的情况。

3.2 饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊氮代谢的影响

Chowdhury 等[13]研究表明，提高饲粮能量水平能够促进氮的沉积并提高蛋白质的消化率，与本研究结果一致。本研究中，随着饲粮 DE 水平的升高，摄入氮降低，但是氮沉积无显著变化，氮表观消化率不断提高。归其原因，饲粮中中性洗涤纤维含量增加时，非纤维性碳水化合物的比例减少，相应的纤维含量增加，而过高的纤维含量会降低饲粮在瘤胃的滞留时间，加快饲粮在胃肠道中的流通速度，减少了干物质、有机物的降解，从而降低其他营养物质的小肠消化率和全消化道消化率[14]。也有研究表明，提高饲粮可发酵碳水化合物的比例可增加循环进入瘤胃的尿素量和减少转运到后肠道组织的尿素量[15]。因此，补饲谷物、淀粉、干果酱和蔗糖等能量物质，提高精料比例，降低中性洗涤纤维含量，提高饲粮可发酵

碳水化合物的比例等均有助于提高瘤胃内蛋白质的降解率，从而提高蛋白质的消化率。

粪氮主要来源于未被消化的饲粮氮、未被消化的微生物氮和内源氮，粪氮和摄入氮之间呈正相关关系（R^2=0.93），氮排泄量一般比较稳定[16]。Sultan 等[17]在 Thalli 绵羊和 Karim 等[18]在 Dorset×Malpura 杂交羔羊上研究均表明摄入氮的提高会提高氮的表观消化率。本研究结果显示，随着饲粮 DCP 水平的升高，摄入氮提高，但是粪氮无显著变化，高 DCP 水平组可消化氮和氮表观消化率较低 DCP 水平组显著提高。尿氮主要成分为尿素，是牧场氮排放的主要来源，且超过动物蛋白质需要量的几乎所有的氮素都会以尿氮的形式排出体外，尿氮受饲粮蛋白质水平的影响较大。李志静等[19]在滩羊上的研究表明，随着饲粮蛋白质水平的升高，尿氮显著提高。Kebreab 等[20]对 580 个泌乳期奶牛氮平衡试验数据进行的荟萃分析显示，摄入氮不同会显著影响粪氮、尿氮，随着饲粮氮水平的提高，粪尿增加，当摄入氮达到 420 g/d 时呈现出一个拐点，摄入氮继续提高，粪氮无显著的增加，尿氮显著增加。本试验中，随饲粮 DCP 水平的升高，尿氮无显著变化，但是在数值上是不断增加的，可能是因为本试验设计的 DCP 水平梯度不大，导致差异不显著。高晔等[12]在陕北绒山羊上的研究显示，饲粮蛋白质水平的升高会显著提高沉积氮，本研究中同一 DE 水平不同 DCP 水平的各组间沉积氮差异不大，可能是因为本试验所配制的饲粮其蛋白质已满足燕山绒山羊的需要，在蛋白质足够的情况下，多余的氮都通过粪、尿排出体外。此外，反刍动物对氮的利用受饲粮蛋白质水平、蛋白质品质、动物品种等多种因素的影响，结果也会有一些差异。

3.3　饲粮 DE 和 DCP 水平对燕山绒山羊其他营养物质表观消化率的影响

提高饲粮 DE 水平会显著提高燕山绒山羊对干物质的表观消化率，此结果与陈存霞[8]和 Sayed[21]研究结果一致，可能是饲粮 DE 水平提高的同时，饲粮精料比例也得到提高所致。Valdes 等[22]研究了精粗比分别为 20：80、40：60、60：40 和 80：20 的饲粮对绵羊营养物质消化代谢的影响，结果表明，随饲粮精粗比的降低，干物质和有机物的表观消化率也会降低，可能是因为饲粮中中性洗涤纤维含量提高的同时会降低饲粮在瘤胃的滞留时间，加快饲粮在

动物胃肠道中的流通速率，降低干物质和有机物的降解率，进而降低营养物质的小肠消化率和全消化道消化率。饲粮 DCP 水平对干物质、有机物、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙和磷的表观消化率均无影响显著，可能是因为本试验设定的 DCP 水平并未改变胃肠道内容物流通与消化之间的动态平衡，因而不会显著影响上述营养物质的消化率。

本试验中，饲粮中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量随饲粮 DE 水平的升高而降低，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率各组间差异不显著，此结果与任婉丽等[23]和欧斌等[24]的研究结果一致。还有研究表明，高能量组饲粮中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率显著高于中、低能量组，中、低能量组之间没有显著差异[25]。这可能与中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的消化率与纤维来源、饲粮中中性洗涤纤维含量不同有关。研究发现，饲粮中精料比例增加到 90%时，酸性洗涤纤维消失率不受影响[26]，谷物粗饲料比例增加时，中性洗涤纤维消失率不受影响[27]。

关于饲粮能量和蛋白质水平对钙、磷吸收影响的研究较少，且数值差异很大。本试验中，低 DE 水平组钙的表观消化率显著低于中、高 DE 水平组，但是饲粮 DE 水平对磷的表观消化率未产生显著影响，并且饲粮 DCP 水平对钙和磷的表观消化率均未产生显著影响。钙、磷的消化率受多种因素的影响，包括饲料中钙、磷含量及其比例，钙、磷的存在形式，尤其是磷，植物中的磷多数是以植酸磷的形式存在，大大降低了动物对磷的吸收。

4 结 论

① 随着饲粮 DE 水平的提高，干物质、有机物、粗脂肪、钙、总能和氮的表观消化率增加。

② 饲粮 DCP 水平显著影响了摄入氮、可消化氮和氮表观消化率。

③ 饲粮中 DE 和 DCP 水平分别为 14.0 MJ/kg 和 10.5%时，总能表观消化率、消化能和氮表观消化率最高；饲粮中 DE 和 DCP 水平分别为 12.8 MJ/kg 和 10.5%时，沉积氮最高。

参考文献：

[1] 孔祥通.日粮能量水平对陕北白绒山羊生长性能、养分消化率及甲烷产量的影响研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2014.

[2] 柴贵宾,李健云,张微,等.不同能量蛋白水平对舍饲辽宁绒山羊产绒性能和营养物质代谢率的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(11):29–33.

[3] 杨宁,张微,贾志海,等.日粮不同蛋白水平对舍饲绒山羊种母羊养分消化、繁殖性能及产绒性能的影响[J].中国畜牧杂志,2009,45(23):33–36.

[4] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academy Press,2007.

[5] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[6] MAHGOUB O,LU C D,EARLY R J.Effects of dietary energy density on feed intake,body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs[J].Small Ruminant Research,2000,37(1/2):35–42.

[7] 黄帅,朱海鲸,史雷,等.能量水平对生长期陕北白绒山羊生长性能及营养物质消化代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3931–3939.

[8] 陈存霞.不同能量蛋白水平对育肥羔羊生长性能及营养物质表观消化率的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2016.

[9] 司丙文,王俊,张乃锋,等.日粮蛋白质水平对杜寒杂交断奶羔羊营养物质消化及瘤胃发酵的影响[J].家畜生态学报,2014,35(12):33–38.

[10] 王春昕,赵云辉,赵卓,等.日粮粗蛋白质水平对苏博美利奴羊生长性能、消化代谢及血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(1):108–113.

[11] 刘海斌.蛋白水平对舍饲辽宁绒山羊生产性能及消化代谢的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2008.

[12] 高晔,李碧波,黄帅,等.陕北白绒山羊羯羊能量和蛋白质需要量[J].动物营养学

报,2016,28(3):720–730.

[13] CHOWDHURY S A,HOVELL F D D,ØRSKOV E R,et al.Protein utilisation during energy undernutrition in sheep sustained on intragastric infusion:effect of changing energy supply on protein utilisation[J].Small Ruminant Research,1995,18(3):219–226.

[14] 祁茹,林英庭.日粮物理有效中性洗涤纤维对奶牛营养调控的研究进展[J].粮食与饲料工业,2010(5):52–55.

[15] HERSOM M J.Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in forage-fed ruminants[J].Journal of Animal Science,2008,86(Suppl.14):E306–E317.

[16] CASTILLO A R,KEBREAB E,BEEVER D E,et al.A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2000,9(1):1–32.

[17] SULTAN J I,JAVAID A,ASLAM M.Nutrient digestibility and feedlot performance of lambs fed diets varying protein and energy contents[J].Tropical Animal Health and Production,2010,42(5):941–946.

[18] KARIM S A,SANTRA A.Nutrient requirements for growth of lambs under hot semiarid environment[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2003,16(5):665–671.

[19] 李志静,眭丹,周玉香.不同蛋白水平对舍饲滩羊消化代谢及血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(17):39–43.

[20] KEBREAB E,FRANCE J,MILLS J A N,et al.A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment[J].Journal of Animal Science,2002,80(1):248–259.

[21] SAYED A B.Effect of different energy levels of diets on the performance,nutrient digestibilities and carcass characteristics of lambs[J].International Journal for Agro Veterinary &

Medical Sciences,2011,5(5):472–476.

[22] VALDES C,CARRO M D,RANILLA M J,et al.Effect of forage to concentrate ratio in complete diets offered to sheep on voluntary food intake and some digestive parameters[J].Animal Science,2016,70(1):119–126.

[23] 任婉丽,朱晓萍,张微,等.日粮能量与蛋白质水平对绒山羊消化代谢和精液品质的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(21):51–55.

[24] 欧斌,涂吉华,朱晓萍,等.能量摄入水平对放牧绒山羊养分消化和产绒性能的影响[J].中国畜牧杂志,2009,45(5):21–24.

[25] 张英慧.日粮不同能量和蛋白质水平对肉羊消化代谢的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2006.

[26] COLE N A,JOHNSON R R,OWENS F N.Influence of roughage level and corn processing method on the site and extent of digestion by beef steers[J].Journal of Animal Science,1975,43(2) :497–503.

[27] BINES J A,DAVEY A W.Voluntary intake,digestion,rate of passage,amount of material in the alimentary tract and behaviour in cows receiving complete diets containing straw and concentrates in different proportions[J].British Journal of Nutrition,1970,24(4):1013–1028.

Effects of Dietary Digestible Energy and Digestible Crude Protein Levels on Nutrient Apparent Digestibility of *Yanshan* Cashmere Goats

ZHANG Jiwei[1] LI Zhenlin[2] ZHAI Gang[2] GAO Kun[1] ZHANG Yingjie[1*] LIU Yueqin[1] DUAN[1] Chunhui

(1. *College of Animal Science and Technology, Agricultural University of Hebei*, *Baoding*

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangyingjie66@126.com （责任编辑 菅景颖）

071000, *China*; 2. *Hebei Qinglong Animal Husbandry Bureau*, *Qinglong* 066500, *China*)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of dietary digestible energy (DE) and digestible crude protein (DCP) levels on nutrient apparent digestibility of *Yanshan* cashmere goats under stall-feeding condition. Ninety 4-month-old weaned male *Yanshan* cashmere goats with good body condition and body weight of (16.17±1.90) kg were divided into 9 groups with 10 goats per group. Nine diets were formulated according to a 3×3 completely random experiment design, in which DE were designed at 3 levels and they were low (11.6 MJ/kg), medium (12.8 MJ/kg) and high (14 MJ/kg), DCP were also designed at 3 levels and they were low (8.5%), medium (9.5%) and high (10.5%). Goats in each group randomly fed one of nine diets. Four lambs per group were selected for a digestion and metabolism trial after the lambs in each group reached 20 kg of average body weight, and the pretrial and trial lasted for 7 and 3 days, respectively. The results showed as follows: 1) the fecal energy (FE) was significantly decreased with the increase of dietary DE level (P<0.05), but the gross energy (GE) was significantly increased (P<0.05). Dietary DCP level and the interaction of DE level and DCP level had no significant effects on GE, FE, urinary energy (FE), DE and GE apparent digestibility. 2) The nitrogen (N) intake and fecal N were significantly decreased with the increase of dietary DCP level (P<0.05). N apparent digestibility in low and medium DE level groups was significantly higher than that in high DE level group (P<0.05). The N intake and N apparent digestibility in low DCP level group was significantly lower than those in high DE level group (P<0.05). The digestible N in low and medium DCP level groups was significantly lower than that in high DE level group (P<0.05). The interaction of DE level and DCP level had no significant effects on N metabolism indices (P>0.05). 3)The apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), calcium(Ca) and ether extract (EE) were gradually increased with the increase of dietary DCP level (P<0.05). The

apparent digestibility of DM and OM showed significant difference among groups (*P*<0.05), the apparent digestibility of EE in high DE level group was significantly higher than that in low DE level group (*P*<0.05), and the apparent digestibility of Ca in high and medium DE level groups was significantly higher than that in low DE level group (*P*<0.05). Dietary DCP level and the interaction of DE level and DCP level had no significant effects on the apparent digestibility of DM, OM, EE, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), Ca and phosphorus (P). In conclusion, the apparent digestibility of DM, OM, EE, Ca, GE and N are increased continuously with the increase of dietary DE level, and dietary DCP level significantly affects the N intake, digestible N and N apparent digestibility of *Yanshan* cashmere goats. DE and the apparent digestibility of GE and N of *Yanshan* cashmere goats are highest in the diet with 14 MJ/kg DE and 10.5% DCP, and the N retention is highest of *Yanshan* cashmere goats in the diet with 12.8 MJ/kg DE and 10.5% DCP.

Key words: *Yanshan* cashmere goat; digestible energy; digestible crude protein; nutrient; apparent digestibility